

INFLUÊNCIA DOS PANTONES DE CORES DE VEGETAÇÃO DENSA E SEUS IMPACTOS DE TEMPERATURAS RADIANTES E SEUS EFEITOS HIPOTÉTICOS EM SUPERFÍCIES PRÓXIMAS



<https://doi.org/10.56238/arev7n7-213>

Data de submissão: 16/06/2025

Data de Publicação: 16/07/2025

Thiago dos Santos Garcia

Doutorando

Universidade Estadual de Campinas

E-mail: t226711@dac.unicamp.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3126245916424559>

Lucila Chebel Labaki

Livre Docência

Universidade ESTADUAL de Campinas

E-mail: llabaki@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6811-0252>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4884826543973180>

RESUMO

Uma das contribuições para melhorias na qualidade de vida nas cidades e redução de impactos ambientais é o planejamento da arborização urbana. A arborização nas calçadas públicas deve ocorrer considerando-se espécies adequadas, que não obstruam a passagem dos transeuntes e explorem o espaço aéreo sem interferência ambiental, buscando promover áreas de sombra que proporcionem conforto aos usuários locais. Plantar árvores sem planejamento, além de possivelmente causar impactos ergonômicos e espaciais negativos, pode promover efeitos ambientais adversos. Supõe-se, por exemplo, que o aumento da temperatura superficial da alvenaria pode ocorrer pela radiação refletida das copas das árvores, quando muito próximas às mesmas. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar a hipótese do aumento das temperaturas superficiais de superfícies verticais causadas pelas radiações refletidas das folhas das copas das árvores de um grupo de espécies a determinadas distâncias, buscando identificar os impactos em superfícies próximas. A metodologia aplicada a esta pesquisa inclui o estabelecimento de critérios para seleção das espécies arbóreas avaliadas, análise das composições e arranjos espaciais dos indivíduos arbóreos, bem como medições *in loco* das temperaturas do ar, para calcular a temperatura do ambiente interno simulado.

Palavras-chave: Conforto térmico urbano. Arborização urbana. Temperatura radiante. Balanço termo energético da vegetação. Radiação solar.

1 INTRODUÇÃO

O planejamento adequado da arborização urbana traz benefícios ambientais e, por conseguinte, contribui para melhorias da qualidade de vida nas cidades. A escolha do local e da espécie de árvore adequados para o plantio pode proporcionar melhores condições para o desenvolvimento da árvore, minimizando riscos de acidentes, reduções de necessidades de poda, evitando prejuízos à acessibilidade, por exemplo.

Baseando-se nos conceitos e teorias existentes sobre o plantio de árvores, emergem indagações como: Quais são os parâmetros corretos de plantio? Quais os efeitos negativos que o plantio de árvores, de forma indevida, pode causar aos espaços abertos das cidades?

A vegetação tem sido sistematicamente utilizada como estratégia de condicionamento ambiental passivo, integrando um conjunto de estratégias bioclimáticas utilizadas por profissionais da construção civil. Por outro lado, a grande demanda pelo uso do solo urbano induz ao surgimento de novas pesquisas que buscam diferentes formas de trazer a vegetação para as cidades (GIVONI, 1991; NOWAK, 2006; PERINI; MAGLIOCCO, 2012 apud MATHEUS et al. 2016) [1].

As características do entorno imediato interferem diretamente no conforto térmico; sendo assim, o comportamento de indivíduos arbóreos no microclima varia conforme o tipo, porte, idade, período do ano e formas de disposição nos recintos urbanos (ABBUD, 2007; LABAKI; SANTOS, 1996; PEIXOTO; LABAKI; SANTOS, 1995 apud ABREU; LABAKI, 2010) [2].

A transmissão de calor pelas folhas depende da sua estrutura e espessura. De acordo com a espessura (variando para cada folha) as folhas tendem a ter as mesmas propriedades ópticas e térmicas (HOLM, 1989 apud SHINZATO, 2009) [3].

Ometo (1981) apud Shizato (2009) [3] descreve que o balanço de radiação de uma folha é decorrente da posição que ela ocupa na copa, sendo, portanto, um parâmetro extremamente variável.

Rahman et al. (2016) descrevem que as árvores urbanas regulam seu ambiente térmico, principalmente através dos dosséis.

Visto que as árvores se comportam de maneiras distintas no microclima urbano, a quantificação dos benefícios para o bioclima térmico das diferentes espécies arbóreas comumente encontradas e suas disposições no ambiente construído constituem uma importante informação para o planejamento urbano que visa requalificar o microclima urbano. Esta proposta é capaz de introduzir uma transformação pequena e mudar a imagem da cidade com poucos gastos e grandes benefícios (ABREU, 2015) [5].

O comportamento térmico urbano se altera à medida que a morfologia dos espaços é alterada. Menores densidades construídas, baixa verticalização e maior porção de céu visível possibilitam maior

tempo de acesso solar, fazendo com que os ambientes mais abertos recebam maior quantidade de radiação direta incidente durante o dia (SOUZA et al., 2009) [7].

A vegetação tem sido sistematicamente utilizada como estratégia de condicionamento ambiental passivo, integrando um conjunto de estratégias bioclimáticas utilizadas por profissionais da construção civil. Por outro lado, a grande demanda pelo uso do solo urbano induz ao surgimento de novas pesquisas que buscam diferentes formas de trazer a vegetação para as cidades (GIVONI, 1991; NOWAK, 2006; PERINI; MAGLIOCCO, 2012 apud MATHEUS et al. 2016) [1].

As características do entorno imediato interferem diretamente no conforto térmico; sendo assim, o comportamento de indivíduos arbóreos no microclima varia conforme o tipo, porte, idade, período do ano e formas de disposição nos recintos urbanos (ABBUD, 2007; LABAKI; SANTOS, 1996; PEIXOTO; LABAKI; SANTOS, 1995 apud ABREU; LABAKI, 2010) [2].

Ometo (1981) apud Shiznato (2009) [3] descreve que o balanço de radiação de uma folha é decorrente da posição que ela ocupa na copa, sendo, portanto, um parâmetro extremamente variável. Deve-se considerar que, além da posição, a idade, a estrutura e a coloração influenciam nos processos de absorção, reflexão e transmissão.

Rahman et al. (2016) descrevem que as árvores urbanas regulam seu ambiente térmico, principalmente através dos dosséis. Observou-se, em um dos estudos, conforme mostra a figura 3, que ocorrem diferenças de temperaturas no dossel de acordo com os horários, em função da quantidade de radiação recebida ao longo do dia. O estudo ainda informa que, no período da noite, a temperatura superficial da folha sofre um acréscimo de 0,5°C, sendo que, no interior da copa, ocorre uma redução média de 0,85°C em relação à temperatura superficial ao longo de todo o dia.

Visto que as árvores se comportam de maneiras distintas no microclima urbano, a quantificação dos benefícios para o bioclima térmico das diferentes espécies arbóreas comumente encontradas e suas disposições no ambiente construído constituem uma importante informação para o planejamento urbano que visa requalificar o microclima urbano. Esta proposta é capaz de introduzir uma transformação pequena e mudar a imagem da cidade com poucos gastos e grandes benefícios (ABREU, 2015) [5].

Menores densidades construídas, baixa verticalização e maior porção de céu visível possibilitam maior tempo de acesso solar, fazendo com que os ambientes mais abertos recebam maior quantidade de radiação direta incidente durante o dia (SOUZA et al., 2009) [7].

Os materiais empregados na construção civil possuem alta capacidade de absorver calor, o que acaba determinando uma temperatura mais elevada no centro, pelos mecanismos de absorção e trocas de calor entre as massas construídas (ANDRADE, 2022) [6].

A diferença de temperatura do ar entre a área central e seus arredores auxilia na formação de uma circulação convectiva, o que contribui para a concentração de poluentes nos centros urbanos (OKE, 1987) [8]. Oke (1987) [8] enfatiza a importância da vegetação na caracterização atmosférica local, na medida em que trocas sensíveis (radiação, convecção e condução) são substituídas por trocas úmidas (evapotranspiração), permitindo reduções na temperatura do ar (MINELLA et al. 2012) [9].

Nos últimos anos, muitos estudos de modelagem que investigam o efeito da instalação de paredes e telhados verdes na mitigação de ilhas de calor foram publicados. No entanto, a maioria dos estudos publicados concentra-se em aspectos relacionados à interação das tecnologias construídas com vegetação integradas e o clima local).

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a flutuação da temperatura de globo em função da proximidade de copas de árvores.

2 METODOLOGIA

Para esta pesquisa foi elaborada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), cujo objetivo foi identificar o quanto e como está sendo pesquisada a questão da vegetação urbana sobre o processo de projeto em arquitetura e urbanismo. Para tanto, foi realizada uma pesquisa prévia no Portal Periódico CAPES para verificar quais as bases de dados com maior relevância para o tema. As principais palavras utilizadas foram: “urban comfort” AND “urban afforestation” OR radiant temperature OR vegetation and energy balance in buildings. A partir do resultado desta primeira busca foram selecionadas as bases de dados para realizar tal revisão. Estabeleceu-se um filtro entre os anos de 2011 e 2024 e nos idiomas português e inglês.

A partir da definição das palavras-chaves, das opções de busca e base de dados significantes para a revisão, as buscas foram feitas diretamente nas bases selecionadas. A quantidade de artigos resultantes da pesquisa é apresentada na Tabela 1.

Tabela 01: Compatibilização dos artigos pesquisados.

BASE DE DADOS	PALAVRAS CHAVE	PROXIMIDADE COM TEMA	UTILIZADOS
NACIONAIS			
Ambiente Construído	36	6	3
Caminhos da Geografia	21	1	
Fórum Patrimônio	31	1	
INTERNACIONAIS			
Agricultural and Forest Meteorology	33	3	
Applied Geography	11	1	
Building and Environment	3	3	1
Ecological Modelling	2	2	2
Energy and Buildings	4	4	2
Environment Pollution	1	1	
ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing	21	1	
Journal of Arboiculture	1	1	
Landscape and Urban Planning	33	3	1
Pre Hospital Care	1	1	
Remote Sensing of Environment	1	1	
Sustainable cities and society	15	3	
Theoretical and Applied climatology	1	1	1
Urban Forestry & Urban Greening	1	1	
TOTAL	216	34	10

Fonte: Do autor.

Destes resultados, dezessete artigos eram repetidos em mais de uma base, totalizando então 216 artigos que seguiram no processo de seleção.

Em seguida iniciou-se a análise dos títulos, excluindo os artigos que permitissem, apenas com o título, identificar assunto não pertinente para a revisão de literatura, isto é, artigos que não enfatizavam o objetivo da atual pesquisa no processo de projeto em arquitetura e urbanismo. Foram mantidos alguns títulos que trouxeram incertezas quanto a este critério, para serem apurados na próxima fase. Na análise dos resumos, com proximidade do tema, restaram 22 artigos.

Após a seleção dos artigos, iniciou-se uma leitura completa dos trabalhos que realmente possuíam um objetivo próximo do tema de estudo desta pesquisa, totalizando nove artigos selecionados para estudo.

Após a seleção dos artigos, iniciou-se uma leitura completa dos trabalhos, a qual revelou ser mais interessante classificá-los em três subáreas:

1. Índices de conforto térmico em ambientes externos;
2. Estudo Experimental;
3. Simulação de clima urbano;

2.1 ANÁLISE DA LITERATURA

Para o desenvolvimento deste artigo foram analisados apenas os artigos do grupo metodologias e ferramentas para análise e projeto de avaliação de temperaturas externas urbanas com foco em vegetação.

As revisões de literatura são necessárias pela necessidade periódica de apresentar para a comunidade científica uma síntese sobre o estado da arte em um campo específico do conhecimento. Tênuas diferenças entre definições e métodos elevam a probabilidade de equívocos e inconsistências na análise e interpretação de resultados de pesquisas destacando-se, assim, a importância de esclarecer parâmetros e termos comumente utilizados, estabelecendo claramente significados e diferenças.

Com a premissa da importância da qualidade ambiental no espaço construído, Nicol e Roaf (2017) afirmaram que, nas próximas décadas de aquecimento global, um bom projeto de construção será, em grande medida, determinado pelo custo e qualidade do conforto. De acordo com de Dear et al. (2013), o conforto térmico, dentre as variáveis atribuídas à edificação, é a que possui impacto mais imediato e direto sobre os usuários, constituindo um dos aspectos mais influentes na avaliação geral de pós ocupação em edifícios, expressando os principais conceitos inerentes ao termo conforto térmico e as definições destas encontradas na literatura, aqui sintetizados como conforto, neutralidade, adaptação e aliestesia.

A ciência do conforto desenvolvida no século XX se fundamentou em ideais da indústria, fortalecendo e incentivando sistemas de aquecimento, resfriamento e ventilação mecânicos. O conforto térmico era entendido como um produto, comercializado, entregue em dutos e produzido por máquinas.

De acordo com Shove et al. (2008), essa poderia ser uma prática aceitável na época, quando a energia era barata e abundante, assim como questões de poluição atmosférica eram desconsideradas e estava-se no auge da regulação tecnológica. Com as problemáticas ambientais atuais e a elevação do preço da energia, o custo e o impacto da climatização artificial passou a ser questionado.

Além do consumo de energia demandado para a manutenção do conforto térmico de forma mecânica, existem evidências de que espaços condicionados artificialmente possuem um maior nível de rejeição térmica por parte dos seus ocupantes, principalmente ambientes com sistemas centrais de ar (NODA et al., 2018), assim como a tolerância a temperaturas dentro dos limites considerados confortáveis é expressivamente reduzida em ambientes climatizados artificialmente (DEAR; KIM; PARKINSON, 2018; VECCHI; CÂNDIDO; LAMBERTS, 2016). Baseado nisso, pesquisas que buscam avaliar o conforto térmico em espaços ventilados naturalmente vêm crescendo de forma significativa nos últimos 20 anos (DEAR et al., 2013). Mais recentemente, tais estudos vêm apontando os edifícios com operação em modo misto - ventilação natural e condicionamento artificial - como o mais indicado para alcançar a eficiência energética sem comprometer o conforto térmico. A lógica dos sistemas com operações mistas sugere que o edifício deve permanecer ventilado naturalmente até o termostato ultrapassar o limite confortável, sendo indicado, nesse momento, o sistema artificial.

Os modelos preditivos que avaliam espaços sem condicionamento artificial são chamados de adaptativos, pois partem da hipótese de que existe relação causal entre a temperatura interna de conforto com a temperatura externa, sendo essa zona confortável, expandida ou reduzida devido à existência de oportunidades em prol da adaptação das pessoas (DEAR; BRAGER; COOPER, 1997). A ideia da adaptação como modo de restabelecer o conforto, frequentemente, cai na armadilha da crença de que existem grandes faixas microclimáticas confortáveis, sendo observada, na prática, uma superestimação das possibilidades adaptativas, principalmente em espaços de atividades sedentárias de trabalho e de lazer, lugares onde frequentemente existem normas sociais capazes de interferir no comportamento das pessoas (HUMPHREYS; NICOL; ROAF, 2015). Fundamentando-se nisso, é essencial o conhecimento dos limites térmicos de conforto, a fim de evitar stress térmico, problemas cognitivos, de saúde e a diminuição do custo de operação da edificação. Nesse sentido, pesquisas com criação e aplicação de modelos regionais vêm sendo incentivadas (OROSA; OLIVEIRA, 2011).

O entendimento da importância de modelos regionais e sua relevância na eficiência energética vêm fomentando pesquisas na área. Curiosamente, um dos maiores desafios enfrentados pelos pesquisadores é de ordem primária, o entendimento correto dos termos técnicos e suas eventuais aplicações. O uso semântico impreciso e inconsistências em conceitos básicos foi um problema apontado na década de 80 por Auliciems (1981) e perdura até os dias de hoje, como elencado por Sousa (2018). Inconsistências semânticas advindas de assimilações inadequadas de termos técnicos se apresentam constantemente em trabalhos científicos como, por exemplo, o entendimento da neutralidade térmica como sinônimo do conforto térmico, tema este debatido por Humphreys e Hancock (2007) e por Shahzad et al. (2018), que se apresentam como uma das principais contradições na disciplina.

Sousa e Leder (2019) observaram como variáveis influenciáveis do conforto térmico a experiência térmica, a expectativa térmica, a adaptação e a aliestesia.

2.2 A VEGETAÇÃO NO PROCESSO DE PROJETO URBANO

Após o estudo dos artigos selecionados para a Revisão Sistemática da Literatura, elegemos três tópicos a serem discutidos: 1) Os índices de conforto térmico em ambientes externos nas fases iniciais de projeto; 2) o uso experimental no projeto de vegetação, metodologias pontuais que auxiliam a tomada de decisão do projeto de vegetação, bem como a influência do usuário no ambiente construído e 3) as etapas de simulações de clima urbano com ênfase em vegetação. Este agrupamento é apresentado na Tabela 2.

Tabela 02: Artigos abordando metodologias e ferramentas para análise de projeto de vegetação.

TÓPICO	REFERÊNCIAS
Índices de Conforto	GIVONI et al. 2003; ABREU, 2010;
Estudo Experimental	MONTEIRO et al. 2011; MINELLA et al. 2012; Manual Técnico de Arborização Urbana, 2015; MATHEUS et al. 2016;
Simulação	BARTELINK, 1998; SHINZATO, 2009; VANUCCHI et al. 2011; GOVIND et al. 2013; RAHMAN et al. 2016; SUSCA et al. 2023

Fonte: Do autor.

2.3 PLANEJAMENTO URBANO E ARQUITETÔNICO ATRAVÉS DO BIOCLIMA TÉRMICO

Segundo Abreu (2015) a expansão urbana sem consideração de questões climáticas relevantes pode progressivamente diminuir a sustentabilidade em ambientes externos e internos e está intimamente relacionado com qualidade de vida em cidades tropicais. Além disso, o consumo de energia que involuntariamente aumentou ao nível do edifício é uma consequência das modificações climáticas. Isto leva a uma demanda notável sobre os recursos energéticos urbanos (OKE, 1984; JAUREGUI, 1997; AKBARI; TAH, 1992; MCPHERSON; SACAMANO, 1992; MCPHERSON et al., 1989; MATZARAKIS, 2001 apud ABREU-HARBICH, 2015). A motivação para desenvolver um ambiente externo termicamente desejável ou neutro tem implicações que vão além das exigências do desenho urbano e no desenho de edifícios ajustados ao clima. Para restabelecer a temperatura interna e externa aceitável ou condições neutras, é importante especificar os padrões, como os espaços urbanos podem ser estruturados e dispostos de acordo com as condições climáticas existentes em uma região (GIVONI, 1989; GIVONI, 1991; ALCOFORADO; MATZARAKIS, 2010 apud ABREU-HARBICH 2015).

O planejamento e o desenho urbano influenciam a formação de ilhas de calor devido à geometria urbana e propriedades térmicas de superfícies construídas (OKE, 1982; MATZARAKIS, 2001). Posteriormente, a silvicultura e áreas verdes são sugeridas a fim de mitigar os efeitos negativos das ilhas de calor e modificar e reestruturar o ambiente para atingir níveis de conforto térmico (BUENO-BARTHOLOMEI; LABAKI, 2003; ABREU; LABAKI, 2010; DACANAL; LABAKI, 2011 apud ABREU- HARBICH, 2015).

2.4 MÉTODO

Esta seção detalha os métodos, a espécie arbórea e a instrumentação para o desenvolvimento do trabalho de campo.

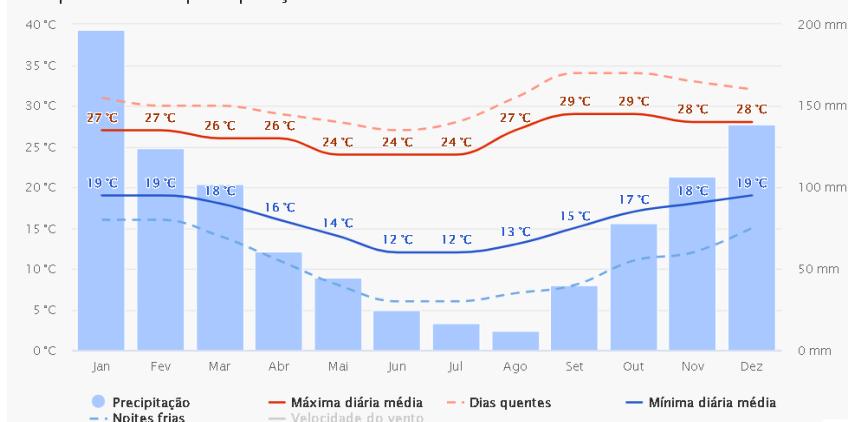
A figura 1 mostra a relação do espaço escolhido com a cidade. A indústria fica localizada a 8 Km do trecho urbano de Mogi Mirim, em uma área, que apesar de industrial, possui uma envoltória predominantemente verde.

Os equipamentos utilizados para esta pesquisa foram um registrador de temperatura de globo, modelo Texto 175-T2, conectado a um sensor de temperatura, colocado no interior do globo negro.

Os dados da velocidade do vento foram coletados de alguns pontos fixos ao redor da árvore com o anemômetro Testo, modelo 405-V1. Também nesta etapa da pesquisa, foi utilizado uma câmera térmica da marca FLIR, modelo C2, para identificar as temperaturas superficiais da copa e do corpo interno da árvore.

A metodologia utilizada esboça um cenário climático da cidade de Mogi Mirim, SP, avaliando inclusive as condições bioclimáticas da região.

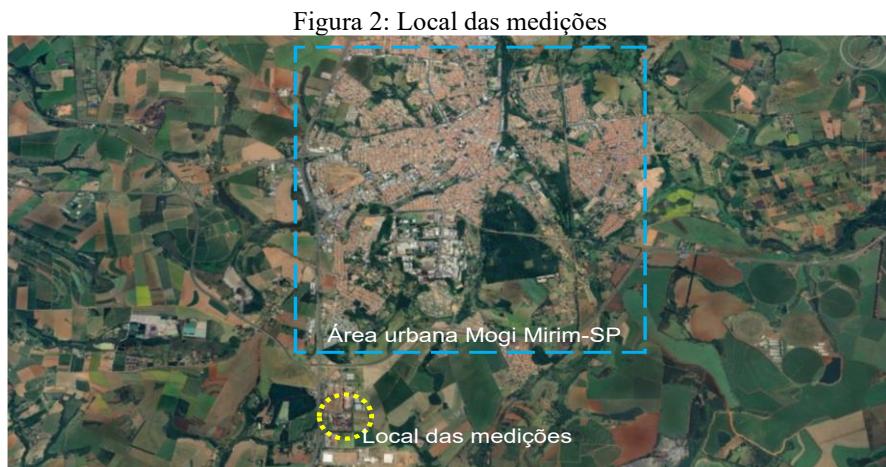
Figura 1: Médias das temperaturas e precipitações anuais de Mogi Mirim-SP.
Temperaturas e precipitações médias



Fonte: Climatempo, 2024.

A figura 1 mostra as médias das temperaturas e precipitações anuais no município de Mogi Mirim-SP. Observa-se que ao longo do ano a cidade apresenta um cenário climático com grandes amplitudes térmicas e grande escassez de chuva ao longo do ano, com exceção do período de verão, onde o volume pluviométrico é maior.

Para as medições realizadas in loco, foi escolhido um local sem muita interferência de edificações na envoltória. O espaço é um estacionamento de uma indústria, situada na zona industrial de Mogi Mirim. O local possui chão de terra com alguns pontos com gramado.



Fonte: Google Earth, 2024.

A figura 2 mostra a relação do espaço escolhido com a cidade. A indústria fica localizada a 8 Km do trecho urbano de Mogi Mirim, em uma área, que apesar de industrial, possui uma envoltória predominantemente verde.

2.5 MEDIÇÕES TÉRMICAS DA TEMPERATURA DO AR E DAS SUPERFÍCIES DAS COPAS DAS ÁRVORES: FASE 01: PRÉ TESTE

Para estas primeiras medições, denominadas aqui Pré-teste, foram selecionadas duas espécies de arbustos: “Chuva de ouro: *Lopantera Lactescens*” e “Astrapéia: *Dombeya wallichii*”, onde a primeira possuía folhas com alta densidade, espessura mais grossa e área foliar menor. A segunda possuía folhas com menor densidade e maior área foliar maior.

Ressalta-se aqui que o pré-teste ocorreu em função do período de pandemia do Covid-19, ocorrido entre os anos de 2019 e 2021. A instituição UNICAMP permaneceu fechada durante este período, impossibilitando, desta forma, a captação dos equipamentos necessários para as medições oficiais deste trabalho.

A primeira fase da etapa das medições foi o desenvolvimento de um protótipo simplificado, que simulasse um espaço fechado, sem interferências externas.

Os equipamentos utilizados na primeira etapa foram um termo-higrômetro da marca ASKO, modelo AK28 new e um termômetro infravermelho, HW 600, nº 3192480355.

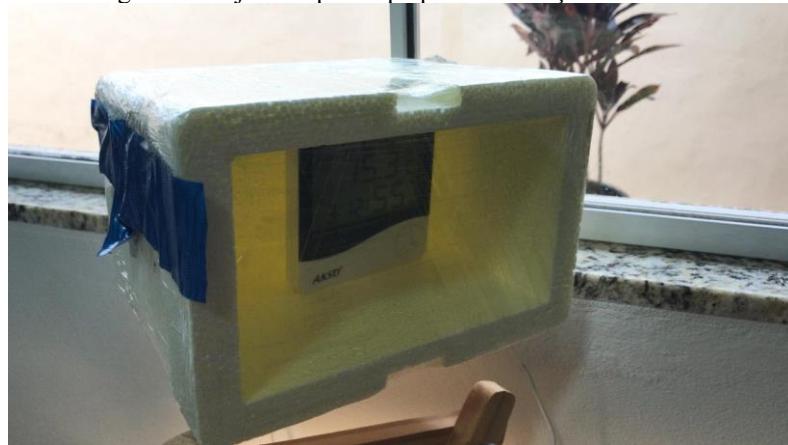
Figura 3: Projeto do protótipo para as medições térmicas.



Fonte: Do autor.

A figura 3 mostra a ideia inicial de como seriam as medições para captação dos resultados térmicos. O projeto contempla a ideia de se criar um tripé que alcance a massa da copa da árvore. Dentro do protótipo, uma caixa de isopor de 8.5 litros, fechada com um plástico transparente para que não tenha interferências externas, principalmente a influência dos ventos.

Figura 4: Projeto do protótipo para as medições térmicas.



Fonte: Do autor.

As medições ocorreram no dia 25 de setembro de 2022 no intervalo entre 14:00 horas e 16:00 horas. O protótipo foi posicionado em distâncias entre 2 metros e 30 centímetros das duas espécies analisadas.

Figura 4: Medição pré-teste: Árvore “Chuva de ouro: *Lophantera Lactescens*”. Medição realizada no dia 25 de setembro de 2022. Distância: 2 metros.



Fonte: Do autor.

A figura 4 mostra a medição pré-teste na árvore “Chuva de ouro: *Lophantera Lactescens*”. A primeira medição ocorreu a 2,0 m de distância, cujas características climáticas no local foram de Temperatura do ar de 32°C e umidade relativa do ar em 37% e a temperatura do ar dentro do protótipo foi de 33 °C, as 14:10 horas do dia 25 de setembro de 2022.

Figura 5: Medição pré-teste: Árvore “Chuva de ouro: *Lophantera Lactescens*”. Medição realizada no dia 25 de setembro de 2022. Distância: 1 metro.



Fonte: Do autor.

A figura 5 mostra a medição pré-teste na árvore “Chuva de ouro: *Lophantera Lactescens*”. A segunda medição ocorreu a 1,0 m de distância, cujas características climáticas no local foram de Temperatura do ar de 32°C e umidade relativa do ar em 37% e a temperatura do ar dentro do protótipo foi de 34.2°C, as 14:10 horas do dia 25 de setembro de 2022.

Figura 6: Medição pré-teste: Árvore “Chuva de ouro: *Lophantera Lactescens*”. Medição realizada no dia 25 de setembro de 2022. Distância: 30 centímetros.



Fonte: Do autor.

A figura 6 mostra a medição pré-teste na árvore “Chuva de ouro: *Lophantera Lactescens*”. A terceira medição ocorreu a 0,3 m de distância, cujas características climáticas no local foram de Temperatura do ar de 32,5°C e umidade relativa do ar em 37% e a temperatura do ar dentro do protótipo foi de 35°C, as 14:10 horas do dia 25 de setembro de 2022.

Figura 7: Medição pré-teste: Árvore “Astrapéia: *Dombeya wallichii*”. Medição realizada no dia 25 de setembro de 2022. Distância de 2 metros



Fonte: Do autor.

A figura 7 mostra a medição pré-teste na árvore “Astrapéia: *Dombeya wallichii*”. A primeira medição ocorreu a 2 metros de distância, cujas características climáticas no local foram de Temperatura do ar de 32°C e umidade relativa do ar em 31% e a temperatura do ar dentro do protótipo foi de 35°C, as 14:30 horas do dia 25 de setembro de 2022.

Figura 8: Medição pré-teste: Árvore “Astrapéia: Dombeya wallichii”. Medição realizada no dia 25 de setembro de 2022. Distância de 1 metro



Fonte: Do autor.

A figura 8 mostra a medição pré-teste na árvore “Astrapéia: Dombeya wallichii”. A segunda medição ocorreu a 1 metros de distância, cujas características climáticas no local foram de Temperatura do ar de 32°C e umidade relativa do ar em 31% e a temperatura do ar dentro do protótipo foi de 35.7°C, as 14:30 horas do dia 25 de setembro de 2022.

Figura 9: Medição pré-teste: Árvore “Astrapéia: Dombeya wallichii”. Medição realizada no dia 25 de setembro de 2022. Distância de 30 centímetros.



Fonte: Do autor.

A figura 9 mostra a medição pré-teste na árvore “Astrapéia: Dombeya wallichii”. A terceira medição ocorreu a 1 metros de distância, cujas características climáticas no local foram de Temperatura do ar de 32.5°C e umidade relativa do ar em 31% e a temperatura do ar dentro do protótipo foi de 36°C, as 14:30 horas do dia 25 de setembro de 2022.

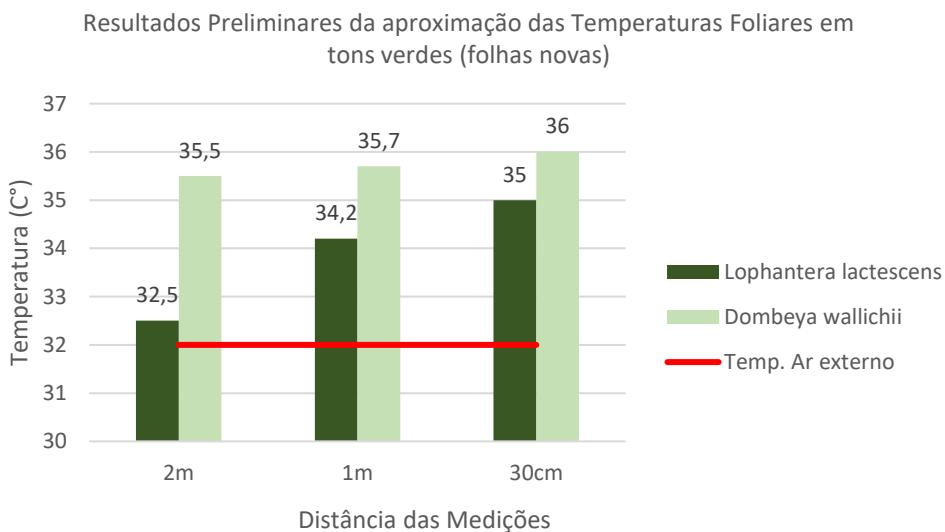
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados com um protótipo adaptado mostraram que existem possibilidades de que as hipóteses levantadas para esta pesquisa podem haver relações verdadeiras.

Comparando os resultados entre as duas árvores selecionadas, observou-se que, quanto menor a distância entre a caixa e as superfícies de copas, maior a temperatura interna da caixa.

Os resultados referentes ao acréscimo de calor da *Lophantera lactescens* apresentaram amplitudes térmicas maiores, com amplitude total de 2.5°C enquanto a *Dombeya wallichii* apresentou uma amplitude térmica menor e mais homogênea, sendo a diferença total de 0.5 °C, conforme os resultados apresentados no gráfico 1.

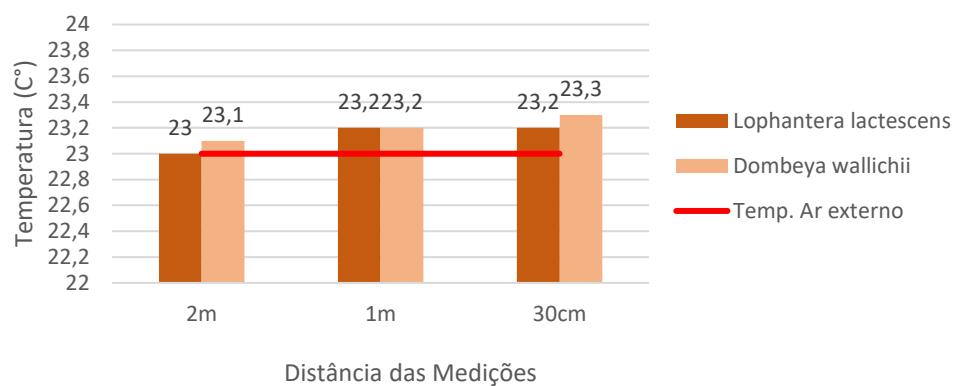
Gráfico 1: Resultado folhas saudáveis.



Fonte: Do autor.

Comparando as espécies, observa-se que *Lophantera lactescens* (chuva de ouro) apresenta uma amplitude térmica menor, diferente da *Dombeya wallichii* (astrapéia). Essas diferenças podem ocorrem em função da diferença de cores das folhas, ao comparar um tom mais claro que reflete mais calor, enquanto o tom mais escuro absorve mais. Outro aspecto que pode influenciar essa diferença de amplitude entre as folhas é a densidade, já que a *Lophantera lactescens* (chuva de ouro) é maior que a *Dombeya wallichii* (astrapéia), aumentando assim sua capacidade de absorver calor.

Gráfico 2: Resultado folhas caducas
Resultados Preliminares da aproximação das Temperaturas Foliares em tons vermelhos (folhas caducas)



Fonte: Do autor.

O gráfico 2 mostra o efeito das amplitudes em folhas caducas (não foram registrados as fotos). Observa-se que as amplitudes de temperatura entre as espécies *Lophantera lactescens* (chuva de ouro) e *Dombeya wallichii* (astrapéia) São menores, sobressaindo maior temperatura da *Dombeya wallichii* (astrapéia). Essas diferenças podem ser menores em função do tom de cores das folhas, que neste caso são mais homogêneos, pois estão secas e em tons semelhantes de marrom. Essa diminuição de amplitude térmica também pode ocorrer em função das densidades, que ao secarem, ficam semelhantes, gerando uma reflexão de calor semelhante entre elas, independente das distâncias.

4 CONCLUSÃO

A discussão inicial deste trabalho partiu de uma pesquisa de mestrado, que visou avaliar o desempenho térmico no interior de apartamentos do Banco Nacional de Habitação (BNH) construída na cidade de Santos, em São Paulo.

Observou-se, durante a pesquisa, que, ao comparar três quartos pertencentes a três diferentes apartamentos, cujas orientações e alturas eram as mesmas, um deles possuía temperatura interna maior que a dos outros dois, e presumiu-se que, a elevação da temperatura interna poderia ter decorrido da existência de uma árvore abaixo da janela deste apartamento.

A principal hipótese apresentada é que propriedades presentes nas folhas colaboram com o aumento das temperaturas de superfícies próximas às copas, em função do calor radiante das folhas. Caso isso seja comprovado, deve-se repensar o plantio de árvores urbanas, respeitando determinadas distâncias destas em relação às fachadas de edifícios. A carência de discussão ergonômica do plantio

de árvores pode estar omitindo problemas de acréscimo de calor em áreas urbanas, mascarando resultados mais precisos sobre as Ilhas de calor nas cidades, pois quando se prescreve soluções de plantio de árvores em meio urbano, as recomendações são relacionadas apenas às sombras geradas no solo, mas não há discussões urbanas sobre a possibilidade de irradiação do calor gerado pelas folhas das copas.

Em seguida a todo o desenvolvimento metodológico, pretende-se responder se a quantidade de radiação emitida por folhas de copas de árvores é capaz de influenciar no acréscimo de temperatura de superfícies próximas a estas copas e, caso afirmativo, qual a melhor solução a se propor. Para esta possível resposta, propõe-se uma tabela simplificada que determine a correta posição do plantio de determinadas espécies arbóreas em cidades.

Figura 10: Hipótese de um objeto de estudo.



Fonte: Do autor.

A figura 10 demonstra a hipótese de que, as copas de árvores, próximas ao pavimento destacado em vermelho, podem contribuir para o acréscimo de calor por radiação refletida, possibilitando maior desconforto entre os usuários e maior consumo energético caso os ambientes sejam climatizados, portanto, caso comprove-se, em pesquisas futuras sobre este tema, necessita-se repensar os plantios da vegetação urbana.

A GRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) e com toda a estrutura educacional da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.

REFERÊNCIAS

ABREU, Loyde Vieira; LABAKI, Lucila Chebel; MATZARAKIS, Andreas. Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. *Landscape and Urban Planning*, v. 138, Campinas-SP, 2015. Elsevier.

ABREU, Loyde Vieira; LABAKI, Lucila Chebel. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 103-117, 2010.

ALCHAPAR, Noelia Liliana; PEZZUTO, Claudia Cotrim; CORREA, Erica Norma; LABAKI, Lucila Chebel. The impact of different cooling strategies on urban air temperatures: the cases of Campinas, Brazil and Mendoza, Argentina. *Theoretical and Applied Climatology*, Campinas-SP, Springer Nature, 2017.

ANDRADE, Renata Godinho Cordeiro de. A contribuição da vegetação para melhoria do microclima urbano: estudo de caso em Superquadras de Brasília. *Dissertação (Mestrado)* – Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2022.

BARTELINK, H. H. Radiation interception by forest trees: a simulation study on effects of stand density and foliage clustering on absorption and transmission. *Ecological Modelling*, Wageningen, Holanda, v. 105, p. 213-225, 1998. Elsevier.

DEAR, R. J.; AKIMOTO, T.; ARENS, E. A.; BRAGER, G.; CANDIDO, C.; CHEONG, K. W. D.; LI, B.; NISHIHARA, N.; SEKHAR, S. C.; TANABE, S.; TOFTUM, J.; ZHANG, H.; ZHU, Y. Progress in thermal comfort research over the last twenty years. *Indoor Air*, Singapura, v. 23, p. 442-461, 2013. Wiley Online Library.

DEAR, R.; BRAGER, G.; COOPER, D. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference: Final Report on ASHRAE RP - 884. Sydney, MRL, 1997.

DEAR, Richard de; KIM, Jungsoo; PARKINSON, Thomas. Residential adaptive comfort in a humid subtropical climate. *Energy and Buildings*, Sydney, ELSEVIER, v. 158, p. 1296-1305, jan. 2018.

FANGER, P. Thermal comfort. Nova York: McGraw-Hill Book Co., 1972.

GIVONI, B. Man, climate and architecture. 2. ed. Londres: Applied Science Publishers, 1976.

GIVONI, Baruch; NOGUCHI, Mikiko; SAARONI, Hadas; POCHTER, Oded; YAACOV, Yaron; FELLER, Noa; BECKER, Stefan. Outdoor comfort research issues. *Energy and Buildings*, Los Angeles, EUA, 2003. Elsevier.

GOVIND, Ajit; GUYON, Dominique; ROUJEAN, Jean-Louis; RAGUENES, Nathalie Yauschew; KUMARI, Jyothi; PISEK, Jan; WIGNERON, Jean-Pierr. Effects of canopy architectural parameterizations on the modeling of radiative transfer mechanism. *Ecological Modelling*, Toulouse, França, v. 251, p. 114-126, 2013. Elsevier.

HUMPHREYS, Michael; NICOL, Fergus; ROAF, Susan. *Adaptive Thermal Comfort: Foundations and Analysis*. New York: Routledge, 2015.

LYNCH, K. *Planificación del sitio*. Barcelona: Gustavo Gilli, 1980.

Manual técnico de arborização urbana. Prefeitura Municipal de São Paulo. São Paulo, 2015.

MACEDO, S. S. A vegetação como elemento de projeto. *Paisagem e Ambiente - Ensaios*, FAUUSP, São Paulo, v. IV, 1992.

MATHEUS, Carla; CAETANO, Fernando Durso Neves; MORELLI, Denise Damas de Oliveira; LABAKI, Lucila Chebel. Desempenho térmico de envoltórias vegetada em edificações no sudeste brasileiro. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 71-81, 2016.

MCHARG, I. L. *Design with nature*. Garden City, NY: Natural History Press, 1969.

MINELLA, F. C. O.; HONJO, S.; KRÜGER, E. L. Estratégias de melhoria do ambiente térmico diurno em situação de verão de uma fração urbana da cidade de São Paulo. *Revista Ambiente Construído*, 2012.

MONTEIRO, J. R.; LEDER, S. M. A aplicação da termografia como ferramenta de investigação térmica no espaço urbano. *ELECS - VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre edificações e comunidades sustentáveis*, Vitória-ES, 2011.

NODA, L. et al. Condições ambientais e percepção do conforto térmico: estudo de caso com trabalhadores de escritórios. *XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, setembro de 2016.

NODA, Barbara Lumy Nogueira. *Conforto, percepção e reação de trabalhadores ao ambiente térmico em escritórios condicionados artificialmente no contexto do clima quente e úmido*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

OLGYAY, V. *Arquitectura y clima – manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

OLGYAY, V. *Design with climate*. Princeton: Princeton University Press, 1963.

OKE, T. R. *Boundary layer climates*. 2. ed. Nova York: Routledge, 1987.

OROSA, José A.; OLIVEIRA, Armando C. A new thermal comfort approach comparing adaptive and PMV models. *Renewable Energy*, [s.l.], v. 36, n. 3, p. 951-956, mar. 2011.

RAHMAN, Mohammad; MOSER, Astrid; RÖTZER, Thomas; PAULEIT, Stephan. Within canopy temperature differences and cooling ability of *Tilia cordata* trees grown in urban conditions. *Building and Environment*, Freising, Alemanha, v. 114, p. 118-128, 2016. Elsevier.

ROAF, Sue; NICOL, Fergus. Running buildings on natural energy: design thinking for a different future. *Architectural Science Review*, Londres, v. 60, n. 3, p. 145-149, 2017.

SHINZATO, P. O. O impacto da vegetação nos microclimas urbanos. 2009. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SHOVE, Elizabeth et al. Comfort in a lower carbon society. *Building Research & Information*, [s.l.], v. 36, n. 4, p. 307-311, ago. 2008. Informa UK Limited.

SOUZA, M. C. B.; LEDER, S. M. Reflexões sobre terminologias utilizadas para definir o conforto térmico humano. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas-SP, 2019.

SOUZA, L. C. L. et al. Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre em uma fração urbana de Bauru, SP. In: ENCONTRO NACIONAL E VI ENCONTRO DA AMÉRICA LATINA DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., Natal, 2009. Anais. Natal: ANTAC, 2009. p. 182-189.

VANUCCHI, A. L.; COLTRI, P. P.; ÁVILA, A. M. H.; PINTO, H. S.; ZULLO, J. Simulação do microclima de cafeeiros a pleno sol e arborizados com software ENVI-MET. IFGW/CEPAGRI, Universidade de Campinas, Campinas, 2011.

VILLAS BOAS, M. Ventilação em arquitetura. Mimeografia. Brasília-DF, 1983.